

Identifikasi Patahan Lokal Menggunakan Metode Mikrotremor

Nizar Dwi Riyantiyo, Amien Widodo, dan Ayi Syaeful Bahri

Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

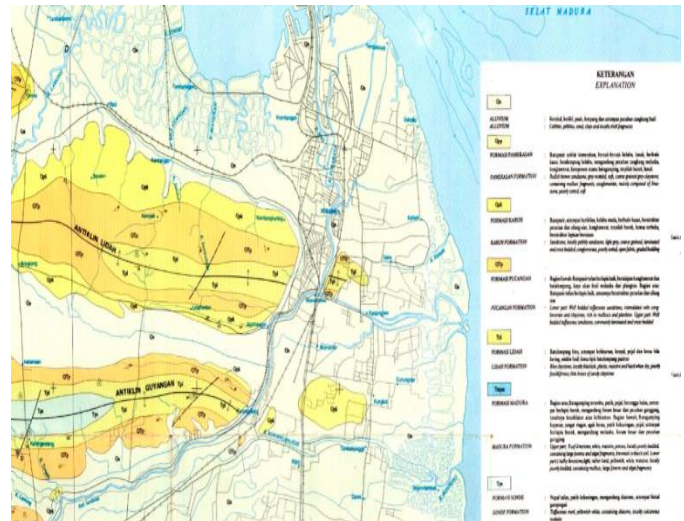
e-mail: Syaeful_b@geofisika.its.ac.id

Abstrak—Wilayah penelitian dalam studi ini adalah kota Surabaya sebagai ibu kota provinsi Jawa Timur. Penelitian ini akan difokuskan pada patahan lokal yang melintasi sungai kota Surabaya, karena sungai Surabaya dilintasi beberapa jembatan di Surabaya seperti Dinoyo, Jagir, jembatan layang Wonokromo dan bendungan gunung sari. Berdasarkan kondisi geologi kota Surabaya berupa cekungan endapan aluvial dan batu pasir dengan sedimen batu lempung dan gamping, serta dilewati oleh sesar Kendeng yang bergerak 5 milimeter per tahun. Dengan komposisi endapan sedimen yang ada di Surabaya, wilayah yang memiliki kondisi geologi berupa aluvial, tuff, dan batu pasir akan memiliki potensi bahaya yang besar terhadap intensitas getaran tanah akibat amplifikasi dan intensitas gempa. Sehingga tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah mengetahui kondisi patahan lokal yang ada di sekitar sungai Surabaya, dimana ketika terkena guncangan gempa bumi dapat berpotensi bergerak dan dapat merusak infrastruktur disekitarnya. Metode yang digunakan dalam studi ini analisa *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)* untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan kemudian akan diintegrasikan dengan nilai Vs30 untuk mendapatkan nilai kedalaman sedimen dan pada penelitian ini akan digunakan inversi HVSr untuk menggambarkan kondisi patahan lokal sungai Surabaya, sehingga dapat memprediksi zona bahaya disekitar patahan lokal sungai Surabaya.

Kata Kunci—Patahan Lokal, Mikrotremor, *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*, Vs30, Kedalaman sedimen, Inversi HVSr.

I. PENDAHULUAN

SURABAYA berdasarkan kondisi geologi memiliki struktur patahan lokal disekitar sungai Surabaya [1]. Patahan local tersebut melintasi jembatan layang Wonokromo, Dinoyo, Jagir, bendungan Gunung Sari, dan bendungan Jagir. Berdasarkan kondisi geologi kota Surabaya berupa cekungan endapan aluvial dan batu pasir dengan sedimen batu lempung dan gamping [1], serta dilewati oleh sesar Kendeng yang bergerak 5 milimeter per tahun, sesar Lasem berada di utara kota Surabaya ± 70 km, sesar Watukosek di selatan Surabaya membentang dari Mojokerto hingga Madura ± 30 km, sesar Grindulu berada di pantai selatan Pacitan sampai Mojokerto ± 50 km. Dengan komposisi endapan sedimen yang ada di Surabaya, wilayah yang memiliki kondisi geologi berupa aluvial, tuff, dan batu pasir akan memiliki potensi bahaya yang besar terhadap intensitas getaran tanah akibat amplifikasi dan intensitas gempa.



Gambar 1. Peta Geologi Surabaya (Sukardi, 1992)

Untuk mengurangi resiko bencana yang ada, maka dilakukan pengukuran mikrotremor dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)* di Kota Surabaya untuk memetakan lokasi rawan kerusakan akibat gempa (peta *mikrozonasi*). Menurut Nakamura [2] mengusulkan metode HVSr untuk mengestimasi frekuensi natural dan amplifikasi geologi setempat dari data microtremor.

Amplifikasi merupakan hasil pembesaran gelombang seismik akibat adanya kenaikan gelombang seismik yang diakibatkan kontras densitas yang besar antar lapisan, gelombang seismik akan mengalami pembesaran ketika melewati medium yang lebih lunak dibandingkan dengan medium sebelumnya.

$$A^0 = \frac{\rho_b \cdot v_b}{\rho_s \cdot v_s} \quad (1)$$

Dengan nilai ρ_b merupakan densitas batuan dasar (gr/ml), v_b cepat rambat gelombang batuan dasar, v_s kecepatan rambat gelombang batuan lunak dan ρ_s densitas batuan lunak.

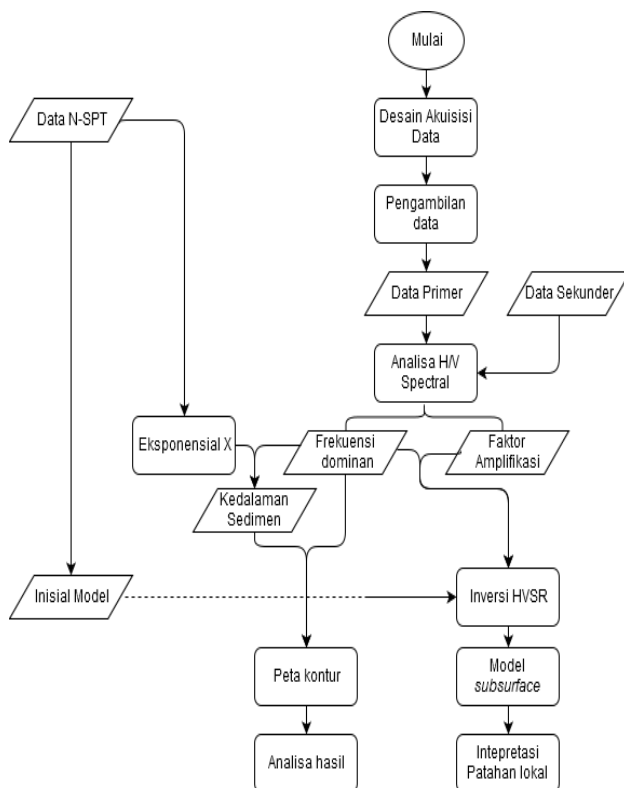
Kemudian penelitian yang mengangkat tema mengenai Mikrozonasi kota Surabaya oleh Bahri, dkk [3] dan [4] memiliki hasil dengan kecenderungan bahwa area yang memiliki tingkat kerentanan tinggi berada di wilayah bagian timur kota Surabaya. Hal ini diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh Syaiffudin, dkk [5] tentang penelitian

mikrotremor pada *mud vulcano* Gunung Anyar bahwa wilayah Surabaya timur memiliki kedalaman sedimen relatif dalam.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sungkono dan Santosa [6] yang telah melakukan pengolahan inversi kurva HVSR dengan mengestimasi nilai kecepatan gelombang geser Vs, menunjukkan bahwa kurva HVSR merepresentasikan karakteristik dinamik setempat. Nilai Vs yang didapatkan dari hasil inversi digunakan sebagai pengklasifikasian jenis tanah dan dapat digunakan sebagai indikasi zona bahaya akibat gempa bumi.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini digunakan alat mikrotremor jenis MAE terdiri dari Seismograf 3 komponen (2 komponen horizontal: EW-NS dan 1 komponen vertikal). Pengukuran mikrotremor dilakukan memotong patahan lokal dari barat ke timur kota Surabaya sebanyak 40 titik. Alur penelitian ini secara lebih lengkap bisa dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir Penelitian

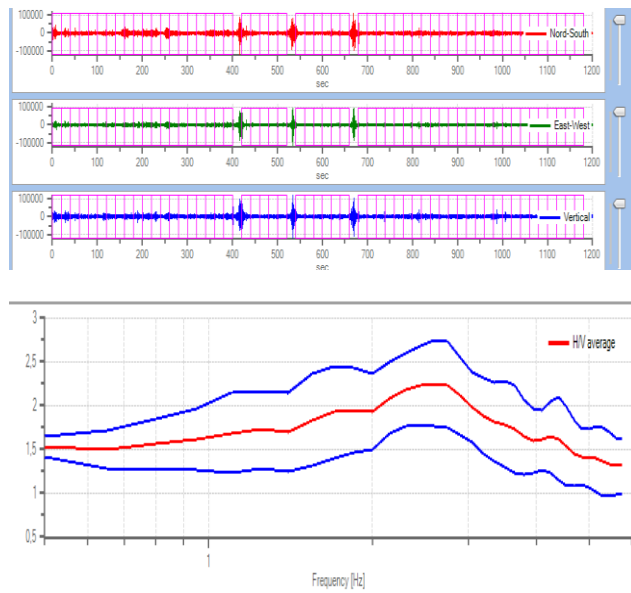
Penelitian ini dimulai dari proses penghimpunan data sekunder dari PVMBG dan penelitian sebelumnya oleh Bahri, AS [3] dan [4]. Dari data tersebut diolah kembali untuk mendapatkan persebaran frekuensi dominan. Kemudian pada penelitian ini difokuskan kembali dengan adanya patahan lokal yang sejajar dengan sungai Surabaya.

Tabel 1.
Klasifikasi Tanah sesuai Eurocode 8

Tipe tanah	Uraian Gambaran Stratigrafi	Vs30 (m/s)
A	Batuan atau formasi batuan lainnya	>800
B	Endapan <i>sand</i> atau <i>clay</i> yang sangat padat, <i>gravel</i> , pada ketebalan beberapa puluh meter, ditandai dengan peningkatan sifat fisik mekanik terhadap kedalaman.	360-800
C	Endapan <i>sand</i> padat atau setengah padat yang tebal, <i>gravel</i> atau <i>clay</i> padat dengan ketebalan beberapa puluhan hingga ratusan meter	180-360
D	endapan tanah kohesi rendah sampai sedang (degan atau tanpa beberapa lapisan kohesi rendah), terutama pada tanah kohesi rendah	<180
E	lapisan tanah terdiri dari aluvium pada permukaan dengan nilai Vs tipe C atau D dengan ketebalan bervariasi 5 m hingga 20 meter, dibawah tanah ini berupa material keras dengan Vs > 800	
S1	Endapan terdiri dari atau mengandung, ketebalan lapisan 10 m pada tanah lempung lunak atau lempung lanauan dengan indeks plastisitan dan kadar air yang tinggi	<100 (indikasi)
S2	endapan tanah likuifiable, dari clay sensitif, atau tanah lain yang tidak termasuk dalam tipe A-E atau S1	

A. Pengolahan data mikrotremor

Pengolahan data mikrotremor menggunakan analisa HVSR untuk mengestimasi frekuensi natural dan amplifikasi geologi setempat dari data microtremor [6]. Pengolahan data menggunakan *software EasyHVSR*. Tampak pada (gambar 3a) dilakukan pengolahan data menggunakan *window* stasioner 20 detik tanpa *overlapping*, setelah dilakukan *windowing* data akan melewati proses *Fourier Transform* untuk mengubah data berdomain durasi waktu menjadi domain frekuensi. Kemudian dilanjutkan dengan analisis HVSR untuk memperoleh nilai HVSR direpresentasikan oleh puncak kurva HVSR (gambar 4b) dan pada posisi tersebut didapatkan juga nilai frekuensi dominan.



Gambar 3. Proses analisis data mikrotremor menggunakan metode HVSR. a. Data mikrotremor yang telah dilakukan *windowing* 20 detik tanpa *overlapping*. b. kurva HVSR memberikan informasi nilai amplifikasi dan frekuensi dominan.

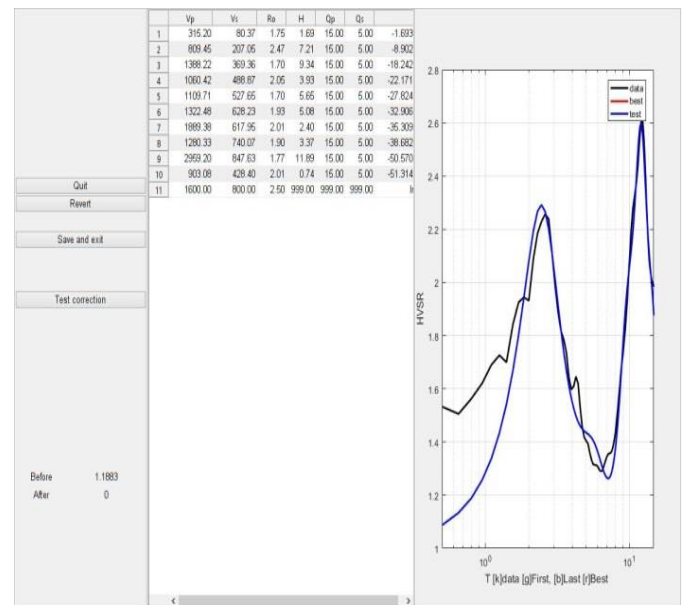
B. Penentuan Parameter Model

Sebelum melakukan proses inversi, dibutuhkan sebuah pemodelan kedepan (*forward modelling*) yang menyatakan proses perhitungan “data” secara teoritis menggunakan persamaan matematik yang diturunkan dari konsep fisika yang mendasari fenomena yang ditinjau. Dalam pemodelan data geofisika, dicari suatu model yang menghasilkan respon yang cocok atau *fit* dengan data pengamatan atau data lapangan Grandis, H [7]. Dalam penelitian ini akan digunakan dua jenis data tebakan awal berupa nilai V_p , V_s , ρ , H , Q_p dan Q_s dimana dalam proses penentuan ini beracuan pada data bor N-SPT (data N-SPT Gunung Anyar dan data N-SPT kompleks perumahan Citraland) yang dilakukan di kota Surabaya.

Dalam penentuan nilai V_s tebakan awal menggunakan konversi yang telah diajukan oleh Fauzi [8] Untuk penentuan nilai V_p digunakan asumsi $V_p = 2V_s$, dikarenakan saat dilakukan pendekatan dengan persamaan *Brocher* [9] terlalu besar untuk kondisi geologi kota Surabaya. Kemudian dalam penentuan densitas tiap lapisannya digunakan teori empiris *Bowels, Foundation Analysis* [10]. Dalam proses penentuan parameter Q_p dan Q_s digunakan nilai konstan dikarenakan kedua parameter tidak memiliki pengaruh besar terhadap kurva HVSR, diperkuat oleh Sungkono dan Santosa [6]

C. Pengolahan inversi HVSR

Setelah didapatkan nilai penentuan awal untuk proses inversi berupa nilai V_p , V_s , ρ , H , Q_p dan Q_s , dilakukan proses inversi pada 43 titik pengukuran yang terdiri dari 25 data hasil pengukuran dan 18 oleh Bahri, AS [3] dan [4]. Program yang digunakan yaitu *OpenHVSR* untuk membantu proses inversi HVSR yang dikembangkan oleh Samuel [11].



Gambar 4. Hasil Kurva Inversi titik TA12 dengan nilai RMS 1,18. Garis hitam mewakili kurva HVSR dan garis biru mewakili kurva hasil estimasi kurva HVSR dari model awal yang ditentukan sebelumnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan analisa menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) dengan tujuan untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan di area penelitian dengan jumlah data 40 titik pengukuran, namun data yang memiliki tingkat *reliable* hanya 25 data sedangkan data pada titik lain tidak dapat di tentukan frekuensi yang *reliable* ini dapat disebabkan oleh adanya noise pada saat pengukuran (kendaraan bermotor).

Tabel 2.
Titik pengukuran dan nilai frekuensi dominan

No	Nama Titik	x	y	frekuensi
1	TA18	687036	9196695	2,62
2	TA17	688765	9195702	3,5
3	TA16	690618	9195022	2,65
4	TA15	690812	9194968	Tidak reliable
5	TA14	690942	9194857	2,9
6	TA13	690955	9194744	2,6
7	TA12	691035	9194646	2,6
8	TA11	691123	9194641	2,3
9	TA05	692813	9193820	Tidak reliable
10	TA33	686059	9195432	3,95
11	TA32	687697	9194469	3,8
12	TA31	689751	9193072	Tidak reliable
13	TA30	689836	9192931	3,35
14	TA29	689974	9192870	3,3
15	TA28	690039	9192841	Tidak reliable

16	TA27	690263	9192697	2,9
17	TA26	690541	9192587	Tidak reliable
18	TA25	691524	9192314	Tidak reliable
19	TA01	695114	9192980	2,9
20	TA02	693946	9193249	Tidak reliable
21	TA03	692943	9193733	Tidak reliable
22	TA04	692898	9193791	3,5
24	TA06	692708	9193824	Tidak reliable
25	TA07	692526	9193913	Tidak reliable
26	TA08	692194	9193947	Tidak reliable
27	TA09	692342	9194037	Tidak reliable
28	TA37	685189	9189640	2,6
29	TA38	682501	9190080	Tidak reliable
30	TA39	688845	9188929	2,28
31	TA40	688743	9189114	2,3
32	TA41	688231	9189115	2,45
33	TA42	688030	9189093	2,75
34	TA43	687627	9189166	Tidak reliable
35	TA44	687319	9189331	4
36	TA19	694428	9190115	2,3
37	TA20	692972	9191014	2,15
38	TA21	692018	9191896	2,9
39	TA22	691859	9192006	3,45
40	TA23	691859	9192006	3,35

Pada penelitian ini dilakukan sayatan 2 dimensi bawah permukaan untuk melihat kondisi bawah permukaan untuk nilai Vs dari tiap lapisan yang didapatkan.

Pada semua sayatan 2 dimensi (Gambar 5) dilakukan sayatan berarah barat-timur yang melewati Antiklin Lidah (Gambar 5). Berdasarkan klasifikasi tanah Eurocode 8 pada sayatan 1 ini lapisan yang dekat permukaan merupakan lapisan tipe E sesuai dengan (table. 1) yaitu lapisan aluvial dengan nilai Vs 50 m/s hingga 100 m/s pada rentang kedalaman 5-10 meter berwarna ungu pada (Gambar 5), dimana lapisan ini memiliki trend yang sama dengan kedalaman yang cenderung sama dari wilayah barat hingga timur kota Surabaya. Kemudian lapisan dibawahnya berturut-turut tipe C pada

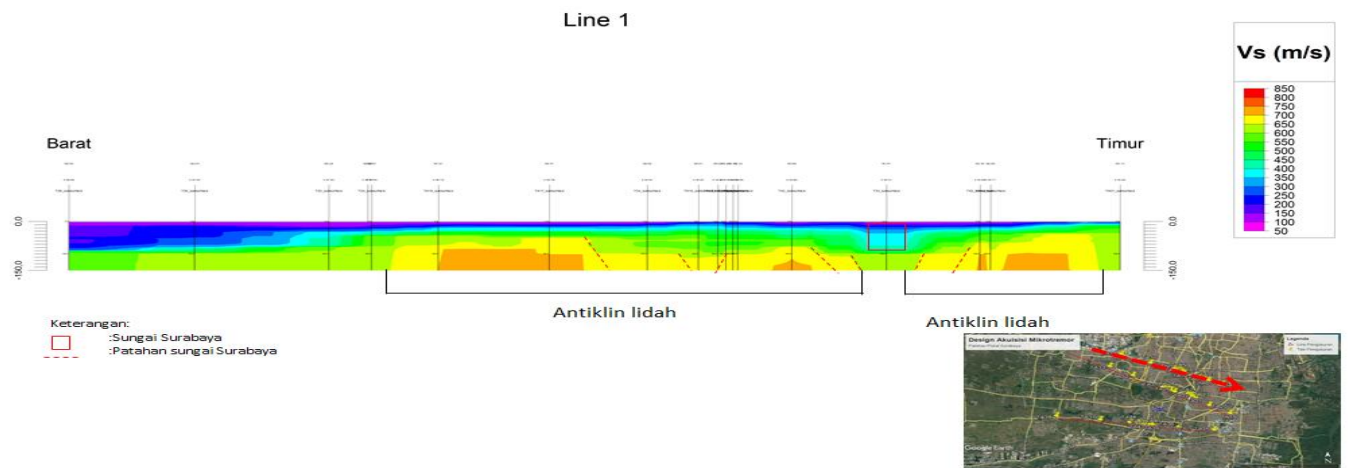
rentang nilai Vs 180 m/s hingga 360 m/s pada rentang kedalaman yang bervariasi 20 m hingga 90 meter dibawah permukaan ditandai kontur berwarna biru tua ke biru muda, kemudian tipe D dengan rentang nilai Vs 360-800 m/s merupakan lapisan keras untuk kedalaman dari lapisan ini bervariasi 40 meter hingga 150 meter (sebagai batas bawah) ditandai dengan kontur berwarna hijau, kuning dan jingga.

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian patahan lokal sungai Surabaya didapatkan nilai frekuensi dominan 2,1 Hz - 4 Hz, kedalaman sedimen 15 m – 80 m, kecepatan geser lapisan 50 m/s – 800 m/s. Hasil model bawah permukaan menunjukkan bahwa sungai Surabaya terbentuk oleh patahan turun mengarah utara – selatan dan terlihat kemenrusannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sukardi, *Geologi Lembar Surabaya & Sapulu, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1992.
- [2] Y. Nakamura, *A Method For Dynamic Characteristics estimation Of Subsurface Using Microtremor On The Ground Surface*, Quarterly. 1989.
- [3] M. abied L. N. Bahri A, Syaeful, "Karakterisasi Kerusakan Bangunan Wilayah Jawa Timr Menggunakan Analisis Mikrotremor," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2013.
- [4] dan D. N. A. Bahri A., Syaeful, Widya Utama, "Penaksiran Resonansi Tanah dan Bangunan Menggunakan Analisis Mikrotremor Wilayah Surabaya Jawa Timur," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2012.
- [5] D. Syaifuddin, Firman, "Microtremor Study of Gunung Anyar Mud Volcano, Surabaya, East Java," in *AIP Conference Proceedings*, 2016.
- [6] B. . S. Sungkono, "Karakterisasi Kurva Horizontal-To-Vertical Spectral Ratio: Kajian Literatur Dan Permodelan," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2011.
- [7] H. Grandis, *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Jakarta: Himpunan Ahli Geofisika Indonesia, 2009.
- [8] dan U. J. F. Fauzi, Ahmad, Masyhur Irsyam, "Empirical Correlation Of Shear Wave Velocity And N-Spt Value For Jakarta," *Int. J. GEOMATE*, vol. 7, no. 1, pp. 980–984, 2014.
- [9] T. M. dan J. D. Mavko, Gary, *The Rock Physics Handbook: Tools For Seismic Analysis of Porous Media*. Cambridge University Press, 2009.
- [10] "http://www.soiltest.sienconsultant.com/," 2017. [Online]. Available: <http://www.soiltest.sienconsultant.com/>.
- [11] S. Bignardi, *OpenHVS User Manual (Ver 2.0)*. 2016.



Gambar 5. Hasil inversi HVSr pada sayatan pertama dengan kedalaman maksimal 150 meter dan nilai kecepatan geser (V_s) 0-800 m/s